

***А. В. Перминова<sup>1\*</sup>, Е. А. Ишина<sup>1</sup>, В. П. Швейкин<sup>2</sup>, Г. А. Белозеров<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

*\*perminova.anna85@gmail.com*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *Е. А. Ишина*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗЦАХ ИЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА В95/10 % SiC ПРИ ИХ НАГРЕВЕ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО СЖАТИЮ

Исследуются релаксационные процессы в образцах из металломатричного композита В95/10 % SiC при их нагреве для экспериментов по сжатию при температурах 300, 400, 500, 570 °С. В работе на основе результатов ДОЭ-анализа получили информацию о воздействии температуры на размер зерен и субзерен, долю малоугловых и высокоугловых границ.

*Ключевые слова:* металломатричный композит (ММК), электронный сканирующий микроскоп, дифракция отраженных электронов.

***A. V. Perminova, E. A. Ishina, V. P. Shvejkin, G. A. Belozero***

## STUDYING THE RELAXATION PROCESSES IN SPECIMENS OF V95/10 % SiC METAL MATRIX COMPOSITE UNDER HEATING BEFORE HIGH-TEMPERATURE COMPRESSION

The paper deals with studying the relaxation processes in specimens of metal matrix composite (V95 + 10 % SiC) in their experiments for heating before compression at temperatures of 300, 400, 500, 570 °C. In this paper, we have used EBSD analysis for studying the influence of the temperature on the size of grains and subgrains, the portion of low-angle and high-angle boundaries.

*Keywords:* metal matrix composite (MMC), raster electron microscope, electron backscatter diffraction.

В данной работе исследуется материал В95/SiC – металломатричный композит (ММК), армированный высокотвердым порошком SiC, в котором в качестве матричного металла используется высокопрочный алюминиевый сплав В95 (Al–Cu–Mg–Zn). Эти композиты являются перспективными материалами для использования в качестве конструкционных, так как потенциально могут иметь высокие

прочностные свойства при достаточно низкой стоимости [1]. В развитых странах разработка и производство ММК сосредоточены в основном в крупных аэрокосмических и автомобильных корпорациях для высоконагруженных конструкций, работающих в основном в условиях напряжений сжатия (детали обшивки, стрингеры, шпангоуты, лонжероны самолетов и другие детали). Поэтому и для инженерных наук актуальной является проблема обоснования выбора оптимальных технологий, позволяющих изготавливать изделия конструкционного назначения с требуемым уровнем эксплуатационных свойств. В предыдущей работе [2] представлены результаты исследований влияния режимов деформации на формирование микроструктуры ММК В95 / 10 % SiC в диапазоне изменения температур 400–570 °С и скоростей деформации 0,1–0,25 с<sup>-1</sup>. Для изучения релаксационных процессов при деформации в микроструктуре образцов из металломатричного композита В95 / 10 % SiC в условиях высоких температур необходимо исследовать релаксационные процессы, которые предшествуют деформации.

Целью данной научной работы является исследование релаксационных процессов в образцах из металломатричного композита В95 / 10 % SiC при нагреве для экспериментов по сжатию в условиях высоких температур (300–570 °С).

Металломатричный композит В95 / 10 % SiC получили во Всероссийском научно-исследовательском институте авиационных материалов путем замеса порошков сплава из В95 (Al–Zn–Mg–Cu) со средним диаметром частиц 40 мкм и SiC с размером частиц 4 мкм в количестве 10 % от объемного содержания в ММК. При спекании смеси порошков без последующего компактирования образуется готовый металломатричный композит.

На первом этапе работы проводили резку образцов из ММК В95 / 10 % SiC с помощью электроискрового станка. Затем на втором этапе нагревали образцы до температуры 300, 400, 500 °С, а также до температуры, близкой к солидусу (570 °С), с выдержкой в течение 1 ч. На третьем этапе шлифовали образцы сначала на станке с помощью алмазного диска для грубого выравнивания поверхности шлифа, а затем на наждачной бумаге. На четвертом этапе образцы механически полировали алмазной суспензией с уменьшением размера частиц абразива 6, 3 и 1 мкм, а в конце проводили электрохимическую полировку в нагретом до 70 °С электролите следующего состава: 11 % H<sub>2</sub>O + 40 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 45 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> + 3 % CrO<sub>3</sub> (мас. доля). Время полировки в среднем составляет 6 с при напряжении 15 В. Завершающим этапом работы являлось исследование шлифов на сканирующем электронном микроскопе VEGA II XMU TESCAN с приставкой для анализа ДОО OXFORD HKL NordlysF. По результатам анализа ДОО с помощью программы HKL Chanel 5 рассчитывали средний диаметр зерен по формуле:

$$D = 2 \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь зерна.

Долю малоугловых границ  $S$  в исследуемых образцах рассчитывали по формуле:

$$S = \frac{L}{L+H}, \quad (2)$$

где  $L$  – суммарная длина границ в пикселях с разориентацией, находящейся в пределах от 2 до 15°;  $H$  – суммарная длина границ в пикселях с разориентацией выше 15°.

На рис. 1 приведена микроструктура образцов из ММК В95 / 10 % SiC в исходном состоянии после нагрева до 300, 400, 500 и 570 °С.

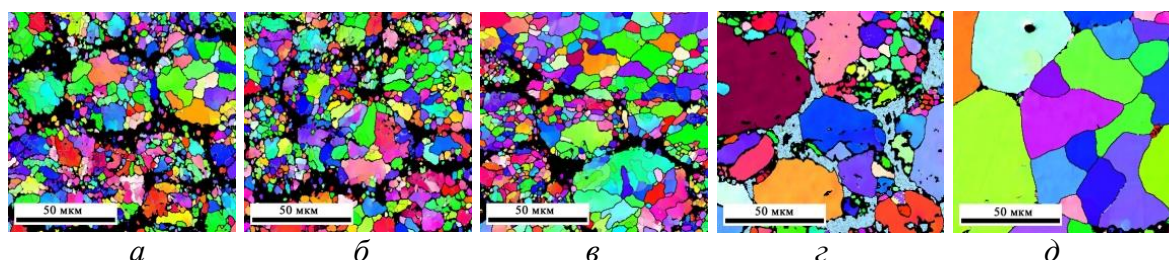


Рис. 1. Полученная методом ДОО микроструктура образцов из ММК В95 / 10 % SiC:  $a$  – в исходном состоянии;  $б, в, г, д$  – после нагрева до:  $б$  – 300 °С;  $в$  – 400 °С;  $г$  – 500 °С;  $д$  – 570 °С

Из рис. 1 видно, что с ростом температуры в микроструктуре образцов ММК В95 / 10 % SiC происходит укрупнение зерен. Для количественной оценки микроструктуры вычислили средний диаметр зерен  $D$  по формуле (1) и долю разориентации малоугловых границ  $S$  по формуле (2). На рис. 2 показана зависимость среднего диаметра зерен  $S$  (рис. 2,  $a$ ) и доли малоугловых границ  $D$  (рис. 2,  $б$ ) исходного образца и образцов после нагрева в диапазоне 300–570 °С.

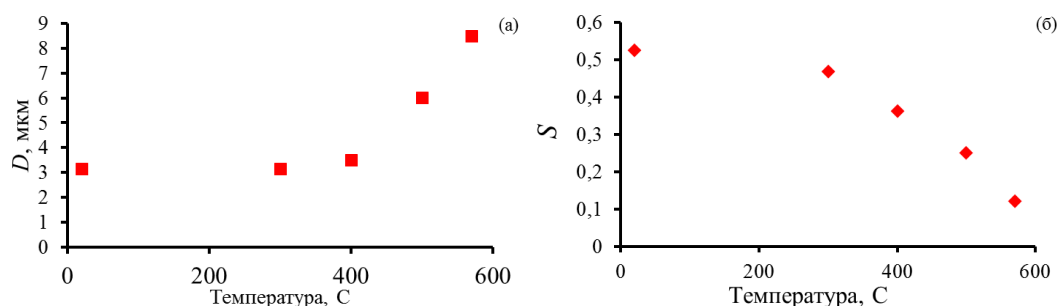


Рис. 2. Зависимость среднего диаметра зерен  $D$  от температуры –  $a$ ; доли разориентации малоугловых границ  $S$  от температуры –  $б$

Из рисунка видно, что с ростом температуры в микроструктуре образцов из ММК В95 / 10 % SiC происходит укрупнение зерен. Из зависимостей среднего диаметра зерен и доли малоугловых границ от температуры нагрева можно сделать вывод, что при температуре нагрева в диапазоне от 300 до 400 °С средний диаметр зерен несколько увеличился, а доля разориентации малоугловых границ уменьшилась. Свыше 400 °С происходит резкий рост среднего диаметра зерен и снижение малоугловых границ, что свидетельствует о прохождении процесса рекристаллизации зерен.

Нагрев образцов ММК В95 / 10 % SiC в диапазоне 300–570 °С оказывает влияние на изменение среднего диаметра зерен  $D$  и доли разориентации малоугловых границ  $S$ . В результате эксперимента было установлено, что с ростом свыше 400 °С происходит резкий рост среднего диаметра зерен и снижение малоугловых границ, что свидетельствует о прохождении процесса рекристаллизации зерен.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pugacheva N. B., Michurov N. S., Bykova T. M. The Structure and Properties of the 30Al-70SiC Metal Matrix Composite Material // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. 2015. № 6. P. 6–18.
2. Реологическое поведение и формирование микроструктуры композита на основе сплава системы Al-Zn-Mg-Cu с 10% содержанием SiC / А. С. Смирнов [и др.] // X Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» : сб. материалов. – Екатеринбург : ИМАШ УрО РАН. 2016. С. 74.